铜绿丽金龟对不同光谱的行为反应

蒋月丽[1,3], 武予清[1,*], 李 彤[1], 巩中军[1], 段 云[1], 苗 进[1], 郭予元[2,3,*]

(1. 河南省农业科学院植物保护研究所, 河南省农作物病虫害防治重点实验室, 农业部华北南部有害生物治理重点实验室, 郑州 450002; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193; 3. 西北农林科技大学植物保护学院, 陕西杨陵 712100)

摘要:【目的】旨在获得铜绿丽金龟 *Anomala corpulenta* Motschulsky 敏感的波谱范围及性别差异。【方法】本研究利用室内行为学的方法,测试了在波长为 340 ~ 610 nm 的 14 个单色光刺激下铜绿丽金龟的趋、避光行为反应,并计算趋、避光反应率曲线。【结果】观测显示,各单色光均能引起铜绿丽金龟产生一定的趋、避光反应,其雌雄虫的趋光敏感光区位于紫外光(405 nm)、蓝光(460 nm)和绿光区(505 和 570 nm),性别对趋光行为有一定的影响,但是仅存在于趋光反应率曲线波峰的大小,而对波峰的位置没有影响。铜绿丽金龟的避光行为反应,在雌雄之间无明显的性别分化,其避光敏感光谱为紫外光(380 nm)、蓝光(440 nm)和绿光区(492 和 505 nm)。【结论】铜绿丽金龟成虫对不同波长光的趋性存在差异,性别对其光谱行为反应有一定的影响。该研究结果为铜绿丽金龟光视觉的深入研究奠定必要的理论基础,也为利用其趋光性对该金龟甲进行综合治理提供科学依据。

关键词: 铜绿丽金龟; 光谱; 趋光反应; 避光反应; 行为

中图分类号: Q968 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296(2015)10-1146-05

Behavioural responses of *Anomala corpulenta* Motschulsky (Coleoptera: Scarabaeoidea) to different spectral light

JIANG Yue-Li[1,3], WU Yu-Qing[1,*], LI Tong[1], GONG Zhong-Jun[1], DUAN Yun[1], MIAO Jin[1], GUO Yu-Yuan[2,3,*] (1. Henan Key Laboratory of Crop Pests Control of Henan Province, IPM Key Laboratory in South of North-China, Ministry of Agriculture, Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. College of Plant Protection, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract:【Aim】The study aims to get the sensitive spectral range of *Anomala corpulenta* Motschulsky to light.【Methods】The phototaxis behavior of *A. corpulenta* in response to spectral sensitivity was tested under 14 monochromatic lights ranging from 340 nm to 610 nm in the laboratory.【Results】*A. corpulenta* adults showed phototaxis reaction to all the tested monochromatic wavelengths between 340 nm and 610 nm spectrum, and the phototactic behavior response rates were higher in the monochromatic light UV (405 nm), blue light (460 nm) and green light (505 and 570 nm) in male and female adults. Sexes affected their phototactic behaviour, but only affected the levels of response rate peaks. The spectral photophobic behavior response of *A. corpulenta* adults showed no significant difference between the two sexes, and the photophobic behavior response rates were higher in the spectrum of ultraviolet region (380 nm), blue light (440 nm) and green light (492 and 505 nm).【Conclusions】There are differences in phototaxis of *A. corpulenta* to light between different wavelengths, and gender is an important factor affecting the spectrum of behavioral responses. The results not only provide a necessary theoretical foundation for further research of light vision in *A. corpulenta*, but also provide a scientific basis for the use of phototaxis to the integrated management of scarab beetles.

Key words: *Anomala corpulenta*; light spectrum; phototaxis; photophobism; behavior

---

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-03); 河南省农业科学院自主创新基金(2015)

作者简介: 蒋月丽, 女, 1982 年生, 河南杞县人, 博士, 助理研究员, 研究方向为昆虫生态学, E-mail: yueli006@126.com

* 通讯作者 Corresponding authors, E-mail: yuqingwu36@hotmail.com; yuyuanguo@hotmail.com

收稿日期 Received: 2015-04-03; 接受日期 Accepted: 2015-07-17

昆虫趋光性的本质是接受光刺激后的行为响应,是对特定光源不可遏制的趋向行为。包括正趋光性和负趋光性(即避光)。趋光性是昆虫众多趋性行为中的一种,也是大多数昆虫的主要行为习性之一。它是昆虫长期对生态环境适应进化的结果,对昆虫的各种生命活动起着重要的作用。

铜绿丽金龟 *Anomala corpulenta* Motschulsky 是我国农林重要害虫之一。幼虫主要取食农作物的地下部分,成虫取食多种林木和果树的叶片,在林木和果树种植较多的地区为害花生、大豆等农作物较重(Yuan, 2001)。铜绿丽金龟成虫具有较强的趋光性,并具有一个特性,就是其外骨骼和其他丽金龟科的珠宝金龟甲一样能够选择性反射左旋圆偏振光(蒋月丽等, 2013),研究者也发现这种特性与其体色可能共同成为其交配行为中的视觉信号(Miao *et al*., 2015)。鉴于此,对该金龟甲光视觉的研究就显得尤为重要。而目前国际上关于该类金龟甲的光视觉研究主要集中在偏振视觉方面(Horváth and Varjú, 2004; Brady and Cummings, 2010; Blahó *et al*., 2012),但在颜色(即波长)视觉行为响应的研究方面报道却很少。鞠倩等(2010)研究了 5 种不同波长的 LED 光源对几种金龟甲的行为反应,发现铜绿丽金龟对 405 nm 紫外光和 465 nm 蓝光趋性最强。高燕(2013)对花生田地下害虫灯光诱杀技术的研究中发现,5 种频振式杀虫灯对铜绿丽金龟均有较强的诱集效果。但是这些研究所选光源的波长有限,并不能准确地揭示铜绿丽金龟敏感的光谱范围。

为更进一步明确铜绿丽金龟对不同光谱的行为反应,本研究利用室内行为测试的方法研究了其对 14 种不同波长光的行为反应,以期获得铜绿丽金龟敏感的波谱范围及性别差异,为该昆虫光视觉的更深入研究奠定必要的理论基础,也为利用其趋光性对该金龟甲进行综合治理提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　供试昆虫

铜绿丽金龟成虫为 2012 年夏季在田间采集,采集地为河南省农业科学院原阳实验基地(113.46°E, 35.08°N),采集后的成虫在室内的玻璃缸中临时饲养待用,以新鲜的金叶女贞 *Ligustrum vicaryi* 的嫩叶和西红柿 *Lycopersicon esculentum* 的成熟果实饲喂(温度控制在 25 ~28℃,相对湿度为 70% ~75% 左右)。

1.2　试验装置

根据铜绿丽金龟的活动习性,并参照吕飞(2012)的研究,设计并制作了如下的光行为反应装置(图 1)。铜绿丽金龟对不同光刺激具有选择性,故其主体分为两部分,即趋光反应室和避光反应室(35 cm × 30 cm × 20 cm),中间为空间相对较大的栖息活动室(40 cm × 30 cm × 30 cm)。活动室中心位置设置了一块阻止入射光进入避光反应室的挡光板,该挡光板可以移动,从而将趋光反应室和避光反应室在光路上分隔开来。光源采用 50 W 的溴钨灯(OSRAM,德国西门子集团),用滤光片过滤获得单色光,滤光片购自沈阳汇博光学技术有限公司,滤光片的波长为:340, 360, 380, 405, 420, 440, 460, 492, 505, 520, 550, 570, 590 和 610 nm。用变阻器(20 Ω 2 A, 上海菱光电气制造有限公司)调节使各处理之间光强保持一致。

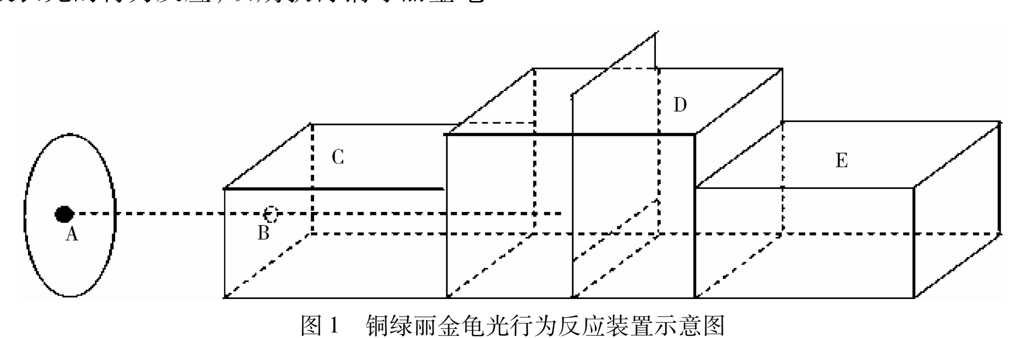


图 1　铜绿丽金龟光行为反应装置示意图

Fig. 1　Sketch map of device for testing phototaxis behavior of *Anomala corpulenta*

A: 光源 Light source; B: 通光孔 Hole of light; C: 趋光反应室 Phototactic response chamber; D: 活动室 Activity chamber; E: 避光反应室 Photophobism response chamber.

1.3　铜绿丽金龟对光谱的行为反应测试

选择健壮雌雄个体作为试虫,为使其复眼适应状态保持一致,每次试验前,把试虫置于室内日光灯下光适应 1 h,再置于暗室中暗适应 2 h。试验在暗室中进行,温度保持于 23 ~25℃,相对湿度 75% ~80%。每次光照时间为 20 min,各处理间隔 10 min。分别进行不同波长的光谱测试。光照处理后,在红光灯下分别统计不同类型光条件下趋光反应室和避

光反应室内的虫体数，计算其各自的趋光、避光行为反应率。趋光反应率（%）=（趋光反应室的虫数/试虫数）×100；避光反应率（%）=（避光反应室的虫数/试虫数）×100。每处理每重复测试30头左右试虫，重复5次，每次测试过的试虫不重复使用。

1.4 数据分析

试验数据采用Excel软件和SPSS16.0数据处理系统进行数据统计分析，不同光源处理间差异显著性采用 F 测验，多重分析采用LSD测验。铜绿丽金龟光谱反应率的性别差异和趋避光反应率的差异采用Mann-Whitney U 测验，OriginPro 8.0作图。

2 结果

2.1 铜绿丽金龟的光谱行为反应

在340~610 nm单色光刺激下，铜绿丽金龟均能产生一定的趋、避光行为反应，其趋、避光反应曲线如图2和图3。从图上可以看出，其雌、雄虫光谱趋光反应曲线为多峰型，各峰之间主次分明。雌虫主要表现为4个突出的峰，主峰位于近紫外的405 nm，其趋光反应率为47.39% ±3.34%，次峰位于绿黄光区的570 nm，趋光反应率为42.89% ±3.12%，第3峰位于460 nm，趋光反应率为38.63% ±4.96%，第4个较小的峰位于505 nm，其趋光反应率为32.85% ±4.40%；雄虫与雌虫峰出现的位置基本一致，不同的是次峰与第3峰位置改变，第4峰的峰值雌虫明显大于雄虫，其趋光反应率分别为：46.22% ±2.43%，38.73% ±3.65%，36.57% ±2.03%和30.29% ±4.83%。雌、雄虫各单色光之间趋光反应率均差异显著（雌虫：df =13，F =1.964，P =0.042；雄虫：df =13，F =4.357，P =0），各处理间的差异显著性见表1。

雌雄成虫的避光反应率从340~610 nm短波到长波区域呈逐渐下降趋势（图2和3）。雌虫避光反应率也呈多峰型，主峰位于380 nm，其避光率为20.74% ±2.57%，次峰位于440 nm，其避光率为15.94% ±3.23%，第3峰和第4峰分别位于505和492 nm。雄虫避光反应率主次峰不明显，从340~460 nm变化不大，仅在520 nm处出现一个明显的峰，其避光反应率为10.5% ±1.00%。雌雄虫各单色光之间趋光反应率均差异显著（雌虫：df =13，F =3.113，P =0.002；雄虫：df =13，F =6.157，P =0），各处理间的差异显著性见表1。

2.2 铜绿丽金龟光谱行为反应的性别差异

从雌、雄虫的趋光反应曲线可以看出，雌虫趋光反应曲线明显高于雄虫（图2）。经差异显著性分析（表1）可知，在492和520 nm处雌雄之间差异显著，说明铜绿丽金龟的趋光行为反应有一定的性别差异。而避光反应曲线在雌雄之间有明显的交叉（图3），差异显著分析显示在340~610 nm之间的单色光刺激下的避光反应均无显著性差异（表1），说明铜绿丽金龟的避光行为反应性别差异不明显。

表1 铜绿丽金龟雌雄成虫对14种不同波长单色光趋、避光反应率差异显著性分析

Table 1 Variance analysis of spectral response rate of the phototaxis and photophobic behavior in male and female adults of *Anomala corpulenta* at 14 monochromatic lights of different wavelength

波长（nm） Wavelength	趋光反应率 Phototactic rate（%）		避光反应率 Photophobism rate（%）	
	雌 Female	雄 Male	雌 Female	雄 Male
340	34.18 ±3.41 bcdA	25.67 ±4.50 cdeA	11.97 ±3.60 bcdA	16.22 ±2.69 abA
360	34.31 ±2.24 bcdA	25.67 ±3.86 cdeA	12.74 ±2.67 bcdA	16.52 ±3.01 abA
380	35.93 ±3.95 bcdA	26.41 ±3.92 cdA	20.74 ±2.57 aA	16.79 ±2.34 aA
405	47.39 ±3.34 aA	46.22 ±2.43 aA	14.77 ±2.49 abcA	15.76 ±1.81 abA
420	33.71 ±3.93 bcdA	25.42 ±3.33 cdeA	15.16 ±4.14 abA	16.27 ±2.03 abA
440	34.95 ±3.50 bcdA	29.68 ±3.25 bcdA	15.94 ±3.23 abA	15.59 ±2.06 abA
460	38.63 ±4.96 abcA	38.73 ±3.65 abA	7.26 ±2.07 cdeA	13.77 ±1.86 abA
492	30.45 ±2.89 cdA	20.85 ±2.78 deB	11.01 ±3.07 bcdeA	11.68 ±0.94 abA
505	32.85 ±4.40 bcdA	30.29 ±4.83 bcdA	4.35 ±2.75 eA	3.71 ±1.57 dA
520	31.09 ±2.39 cdA	15.39 ±2.38 eB	12.61 ±1.63 bcdA	10.5 ±1.00 bcA
550	34.27 ±4.79 bcdA	32.00 ±6.20 bcA	6.26 ±1.97 deA	4.91 ±2.09 cdA
570	42.89 ±3.12 abA	36.57 ±2.03 abA	8.68 ±1.88 bcdeA	5.08 ±3.15 cdA
590	33.63 ±2.47 bcdA	25.91 ±3.79 cdeA	6.37 ±1.93 deA	3.06 ±1.26 dA
610	28.04 ±3.08 dA	22.98 ±3.49 cdeA	5.98 ±2.20 deA	5.36 ±3.29 cdA

表中数据为平均值±标准误。同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著（P <0.05，F 测验）；同行数据后不同大写字母表示雌雄间差异显著（P <0.05，Mann-Whitney U 测验）。Data in the table are mean ± *SE*. Different small letters following the data in a column indicate significant differences among treatments（P <0.05，F- test），while different capital letters following the data in the same row indicate significant difference between female and male adults（P <0.05，Mann-Whitney U - test）.

2.3 铜绿丽金龟光谱趋、避光反应的差异性

从雌雄成虫的趋、避光反应曲线可以看出，趋光反应曲线均明显高于避光反应曲线（图 2 和 3）。整体来看，趋光反应强的波段，避光反应相对较弱。经差异显著性分析发现，雌虫的趋光率与避光率之间存在显著性差异（表 2）。雄虫的趋光率与避光率的差异显著性分析显示，在 340 ~ 380 nm，420 和 520 nm处无显著性差异（表 3）。

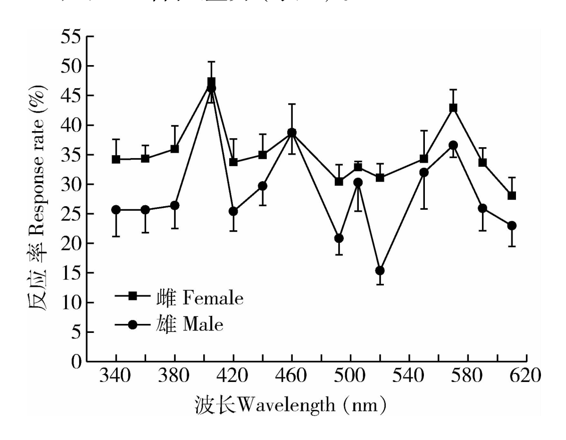


图 2 铜绿丽金龟雌雄虫的趋光反应率曲线

Fig. 2 Spectral response curves of phototaxis behavior in female adults of *Anomala corpulenta*

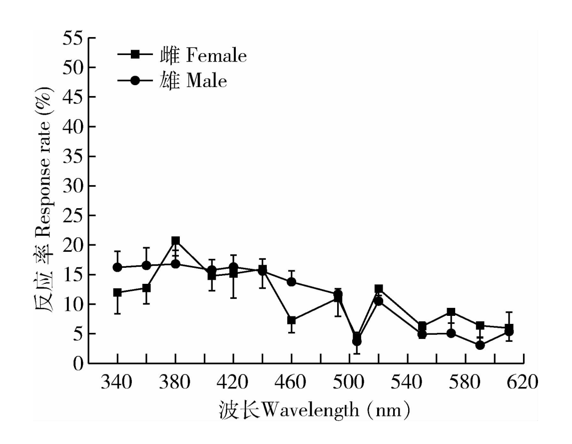


图 3 铜绿丽金龟的雌雄虫避光反应曲线

Fig. 3 Spectral response curves of photophobism in male and female adults of *Anomala corpulenta*

3 讨论

鞠倩等（2010）采用不同波长的 LED 光源对铜绿丽金龟和大黑鳃金龟等几种金龟甲的趋光行为的研究发现，它们敏感波谱分别位于近紫外（405 nm）和蓝光（465 nm）区。吕飞（2012）对黑绒鳃金龟的研究显示，在 340 ~605 nm 波谱内，其趋光行为反应率曲线为多峰宽带型，敏感波谱带主要是位于紫外、蓝光和绿光区域。本研究发现，铜绿丽金龟的趋光行为反应敏感波谱主要位于紫外、蓝光和绿黄光区，其中主峰位于近紫外的 405 nm，次峰位于绿黄光区的 570 nm，第 3 峰位于 460 nm，第 4 峰位于 505 nm 的

表 2 铜绿丽金龟雌虫趋、避光反应率差异显著性分析

Table 2 Variance analysis of the response rate of the phototaxis and photophobic behavior in female adults of *Anomala corpulenta* at 14 monochromatic lights of different wavelength

波长（nm） Wavelength	趋光反应（%） Phototactic rate	避光反应（%） Photophobism rate	*Z* 值 *Z* value	*P* 值 *P* value
340	34.18 ±3.41 a	11.97 ±3.60 b	−2.619	0.009
360	34.31 ±2.24 a	12.74 ±2.67 b	−2.611	0.009
380	35.93 ±3.95 a	20.74 ±2.57 b	−2.200	0.028
405	47.39 ±3.34 a	14.77 ±2.49 b	−2.611	0.009
420	33.71 ±3.93 a	15.16 ±4.14 b	−2.312	0.021
440	34.95 ±3.50 a	15.94 ±3.23 b	−2.410	0.016
460	38.63 ±4.96 a	7.26 ±2.07 b	−2.619	0.009
492	30.45 ±2.89 a	11.01 ±3.07 b	−2.611	0.009
505	32.85 ±4.40 a	4.35 ±2.75 b	−2.643	0.008
520	31.09 ±2.39 a	12.61 ±1.63 b	−2.611	0.009
550	34.27 ±4.79 a	6.26 ±1.97 b	−2.611	0.009
570	42.89 ±3.12 a	8.68 ±1.88 b	−2.619	0.009
590	33.63 ±2.47 a	6.37 ±1.93 b	−2.619	0.009
610	28.04 ±3.08 a	5.98 ±2.20 b	−2.611	0.009

同行数据（平均值 ± 标准误）后不同小写字母表示差异显著（$P < 0.05$，Mann-Whitney *U* 测验）；表 3 同。Different small letters following the data (mean ± *SE*) in the same row indicate significant difference ($P < 0.05$, Mann-Whitney *U* test). The same for Table 3.

表 3 铜绿丽金龟雄虫趋、避光反应率差异显著性分析

Table 3 Variance analysis of the response rate of the phototaxis and photophobic behavior in male adults of *Anomala corpulenta* at 14 monochromatic lights of different wavelength

波长（nm） Wavelength	趋光反应（%） Phototactic rate	避光反应（%） Photophobism rate	*Z* 值 *Z* value	*P* 值 *P* value
340	25.67 ±4.50 a	16.22 ±2.69 a	−2.619	0.009
360	25.67 ±3.86 a	16.52 ±3.01 a	−2.611	0.009
380	26.41 ±3.92 a	16.79 ±2.34 a	−2.200	0.028
405	46.22 ±2.43 a	15.76 ±1.81 b	−2.611	0.009
420	25.42 ±3.33 a	16.27 ±2.03 a	−2.312	0.021
440	29.68 ±3.25 a	15.59 ±2.06 b	−2.410	0.016
460	38.73 ±3.65 a	13.77 ±1.86 b	−2.619	0.009
492	20.85 ±2.78 a	11.68 ±0.94 b	−2.611	0.009
505	30.29 ±4.83 a	3.74 ±1.57 b	−2.643	0.008
520	15.39 ±2.38 a	10.5 ±1.00 a	−2.611	0.009
550	32.00 ±6.20 a	4.91 ±2.09 b	−2.611	0.009
570	36.57 ±2.03 a	5.08 ±3.15 b	−2.619	0.009
590	25.9 ±3.79 a	3.06 ±1.26 b	−2.619	0.009
610	22.98 ±3.49 a	5.36 ±3.29 b	−2.611	0.009

绿光区。而铜绿丽金龟视觉电生理研究的结论也显示存在 3 种光感受器：紫外、蓝光和绿光感受器（Jiang *et al.*，2015）。由此可以看出，铜绿丽金龟在生理与行为上对光的敏感反应基本上一致，并与黑绒鳃金龟的研究结论（吕飞，2012）亦一致，但比鞠倩等（2010）研究的铜绿金龟的敏感波谱多一个绿光区，原因可能是其使用的行为反应方法不同，及其所选滤光片波段有限所致，当然也不排除行为反应受到诸多其他外在因素的影响。

性别会对昆虫的趋光行为产生一定的影响。吕飞（2012）研究认为，黑绒鳃金龟雌虫对光的感受略强于雄虫。本研究发现，雌雄之间峰的位置无明显差异，但是对峰的大小有一定的影响，雌虫的趋光反应率高于雄虫，且在某些波段具有显著性差异。雌雄虫的趋光反应率曲线明显高于避光反应率，差异显著性分析结果显示，雌虫的趋光反应率与避光反应率均存在明显的差异，而雄虫的趋光反应率在部分波段与避光反应率无明显差异，这些结果一方面可能说明雌虫在光反应活动中较雄虫敏感，另一方面也可能是因为雄虫对这些波段不敏感以及某些虫的随机行为造成，这些与黑绒鳃金龟（吕飞，2012）的研究结论一致。从总体的光反应曲线可以看出，当趋光反应率大时，其避光反应率相对较小，可能原因是避光反应是由趋光行为的衍生也或者随机活动所造成的（陈晓霞等，2009）。

在铜绿丽金龟视网膜电位的研究中发现，其敏感波谱与行为反应基本一致，但也不完全一致，主要敏感峰位于紫外（400 nm）、蓝光（460 nm）和绿光区（498 ~ 562 nm）（Jiang *et al.*，2015）。与行为学稍有不同，电生理学所得的敏感结果可能为趋、避光反应的共同结果，表达的是对光感知后的内部生理变化，而并未表现出外在的行为。另外，视网膜电位研究发现雌雄之间无显著性差异，而在行为反应的性别差异分析中发现，雌虫的趋光反应率与雄虫之间在某些波段存在显著性差异，这些结果不一致的原因，可能是复眼的光感受器在接受光视觉信号后经视觉神经加工传导时做出的相应调节或视觉偏移所引起（Gilimeej，1989）。

参考文献（References）

Blahó M，Egri Á，Hegedüs R，Jósvai J，Tóth M，Kertész K，Biró LP，Kriska G，Horváth G，2012. No evidence for behavioral responses to circularly polarized light in four scarab beetle species with circularly polarizing exocuticle. *Physiol. Behav.*，105：1067 – 1075.

Chen XX，Yan HY，Wei W，Qiao WN，Wei GS，2009. Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of *Propylea japonica*（Thunberg）. *Acta Ecologica Sinica*，29（5）：2349 – 2355.［陈晓霞，闫海燕，魏玮，乔玮娜，魏国树，2009. 光谱和光强度对龟纹瓢虫成虫趋光行为的影响. 生态学报，29（5）：2349 – 2355］

Gao Y，2013. Study on Light Trapping Technology against Major Underground Pests in Peanut Field. MSc Thesis，Huazhong Agricultural University，Wuhan.［高燕，2013. 花生田主要地下害虫种类灯光诱杀技术研究. 武汉：华中农业大学硕士学位论文］

Gilimee JH，1989. First record of western flower thrips，*Frankliniella occidentalis*（Pergande）（Thysanoptera：Thripidae）from South Africa. *Journal of the Entomological Society of Southern Africa*，52：179 – 180.

Horváth G，Varjú D，2004. Polarized Light in Animal Vision. Springer-Verlag，Berlin Heidelberg，New York. 15 – 17.

Jiang YL，Guo YY，Wu YQ，LI T，Duan Y，Miao J，Gong ZJ，Huang ZJ，2015. Spectral sensitivity of the compound eyes of *Anomala corpulenta* Motschulsky（Coleoptera：Scarabaeoidea）. *Journal of Integrative Agriculture*，14（4）：706 – 713.

Jiang YL，Guo YY，Wu YQ，Miao J，Gong ZJ，Duan Y，Li T，2013. Behavioral and electroretinogram（ERG）responses of *Anomala corpulenta*（Coleoptera：Rutelidae）to circularly polarized light. *Acta Entomologica Sinica*，56（12）：1397 – 1403.［蒋月丽，郭予元，武予清，苗进，巩中军，段云，李彤，2013. 铜绿丽金龟对圆偏振光的行为和视网膜电位反应. 昆虫学报，56（12）：1397 – 1403］

Ju Q，Qu MJ，Chen JF，Zhao ZQ，Niu HL，Zhou Q，Yu SL，2010. The influence of spectral and sexual differences on phototaxis action of several kinds of beetles. *Chinese Bulletin of Entomology*，47（3）：512 – 516.［鞠倩，曲明静，陈金凤，赵志强，牛虎力，周强，禹山林，2010. 光谱和性别对几种金龟甲趋光行为的影响. 昆虫知识，47（3）：512 – 516］

Lv F，2012. Study on Microstructure of the Compound Eye and Phototactic and Colour Behavior of *Maladera orientalis* Motsch（Coleoptera：Scarabaeidae）. MSc Thesis，Agricultural University of Hebei，Baoding，Hebei.［吕飞，2012. 黑绒鳃金龟成虫复眼显微结构及其趋光、趋色行为学研究. 河北保定：河北农业大学硕士学位论文］

Miao J，Wu YQ，Li KB，Jiang YL，Gong ZJ，Duan Y，Li T，2015. Evidence for visually mediated copulation frequency in the scarab beetle *Anomala corpulenta*. *J. Insect Behav.*，28：175 – 182.

Yuan F，2001. Agricultural Entomology. 3rd ed. China Agriculture Press，Beijing. 157 – 158.［袁锋，2001. 农业昆虫学（第 3 版）. 北京：中国农业出版社. 157 – 158］

Brady P，Cummings M，2010. Differential response to circularly polarized light by the jewel scarab beetle *Chrysina gloriosa*. *Am. Nat.*，175（5）：614 – 620.

（责任编辑：赵利辉）